



THE UNIVERSITY *of* EDINBURGH

Edinburgh Research Explorer

Analisi delle caratteristiche del flusso per prove di imbarcazioni a vela in galleria del vento su modello in scala

Citation for published version:

Zasso, A, Fossati, F, Viola, IM & Catena, P 2005, Analisi delle caratteristiche del flusso per prove di imbarcazioni a vela in galleria del vento su modello in scala. in G Augusti (ed.), *Ingegneria del vento in Italia: Atti dell'VIII Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento IN-VENTO-2004* (Reggio Calabria, 21-23 giugno 2004). Aracne, pp. 563-572.

Link:

[Link to publication record in Edinburgh Research Explorer](#)

Document Version:

Peer reviewed version

Published In:

Ingegneria del vento in Italia

General rights

Copyright for the publications made accessible via the Edinburgh Research Explorer is retained by the author(s) and / or other copyright owners and it is a condition of accessing these publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

Take down policy

The University of Edinburgh has made every reasonable effort to ensure that Edinburgh Research Explorer content complies with UK legislation. If you believe that the public display of this file breaches copyright please contact openaccess@ed.ac.uk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



Analisi delle caratteristiche del flusso per prove di imbarcazioni a vela in Galleria del Vento su modelli in scala

A. Zasso^a, F. Fossati^b, I.M. Viola^a, P. Catena

^a *Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Politecnico di Milano, Italia*

^b *Dipartimento di Ingegneria Industriale e Meccanica, Università degli Studi di Catania, Italia*

SOMMARIO: L'imbarcazione a vela, in navigazione, vede un vento relativo (detto apparente) determinato dalla somma del vento assoluto (detto vero) e del vento di trascinamento associato al moto della barca (detto di velocità). In condizioni normali, il modulo del vento vero e di quello di velocità sono dello stesso ordine di grandezza. Pertanto, diventa di particolare rilevanza il gradiente verticale del vento vero, il quale andando a sommarsi al vento di velocità, dà luogo a una non trascurabile variazione con la quota dell'angolo di incidenza del vento apparente. Tale gradiente di angolo, detto twist, è tanto maggiore quanto maggiore è l'angolo tra la direzione della barca e la direzione di provenienza del vento. Nelle simulazioni in galleria del vento su modelli in scala, si rende necessaria l'adozione di una modalità di controllo del flusso, in grado di generare un adeguato twist in base alle condizioni che si vogliono riprodurre: strato limite terrestre locale, angolo al vento dell'imbarcazione, velocità propria. Allo scopo di realizzare un dispositivo per la generazione di twist nella sezione a bassa velocità della Galleria del Vento del Politecnico di Milano, si illustra nel seguito la verifica di un dispositivo pilota messo a punto nel modello di galleria del vento in scala 1:9.

ABSTRACT: Aerodynamic forces acting on a sailing yacht are due to the relative wind (called apparent wind) sum of an absolute wind (called true wind) and a wind due to the motion (called boat wind). In particular, in usual condition, true wind speed and boat wind speed are of the same order of magnitude. So, the vertical wind gradient becomes quite relevant, generating an important vertical gradient of the angle of attack, between the true wind and the boat course. This angle variation, called twist, grows increasing the angle between the sailed course and the true wind direction. Wind tunnel experiments of sailing yacht model, should be performed taking into account the correct twisted flow with respect of the real life condition. Aim of this paper is to describe a twist-device designed to produce a twisted flow in the low speed section of the Politecnico di Milano Wind Tunnel facility: in particular a pilot twist device has been realized and tested in the 1:9 scale wind tunnel model.

PAROLE CHIAVE: Galleria del Vento, Aereodinamica Piani Velici, Sailing Yacht Aerodynamics, Twist.

1 INTRODUZIONE

Il presente lavoro si inserisce nell'ambito delle attività di ricerca svolte presso la Galleria del Vento del Politecnico di Milano per effettuare prove di piani velici su modelli in scala di imbarcazioni a vela. Oggetto della memoria è un'analisi critica delle caratteristiche fondamentali del flusso che è necessario realizzare in Galleria del Vento, al fine di simulare correttamente il vento

che investe un'imbarcazione a vela in navigazione alle diverse andature.

Le forze aerodinamiche sviluppate dall'imbarcazione sono dovute al vento apparente \vec{V}_a , risultante dalla somma vettoriale del vento vero \vec{V}_v e del vento di velocità uguale e contrario alla velocità della barca \vec{V}_b . E' di uso comune in gergo marinaresco, definire come angolo al vento apparente (indicato con Ψ in figura 2) l'angolo compreso tra la velocità della barca \vec{V}_b e la direzione di provenienza del vento apparente stesso valutata da bordo. Il modulo del vento vero cresce con la quota z come effetto dello strato limite terrestre (Figura 1). Ipotizzando che l'imbarcazione sia in condizioni di moto uniforme, la combinazione vettoriale di $\vec{V}_v(z)$ e \vec{V}_b fa sì che $\vec{V}_a(z)$ risulti variabile con l'altezza (Figura 2) sia in modulo $|\vec{V}_a(z)|$ sia in direzione $\Psi(z)$. Noto $\vec{V}_v(z)$ proprio del tratto di mare in cui si naviga, nonché \vec{V}_b in modulo e direzione, si ricavano il profilo di velocità $|\vec{V}_a(z)|$ e l'angolo $\Psi(z)$ che si debbono riprodurre. Fintanto che l'oggetto della sperimentazione è il piano velico dell'imbarcazione, il campo di variazione della quantità $\Psi(z)$ si riduce ai valori che questo può assumere tra la quota del piano di coperta e quella della testa dell'albero. Si individua pertanto un intervallo $\Delta\Psi$ che risulta definito dall'angolo compreso tra i vettori $\vec{V}_a(z_{testa_albero})$ e $\vec{V}_a(z_{coperta})$, indicati rispettivamente con tratto continuo e tratteggiato in Figura 2. Tale intervallo $\Delta\Psi$ viene comunemente definito come *twist* della vena incidente sul piano velico.

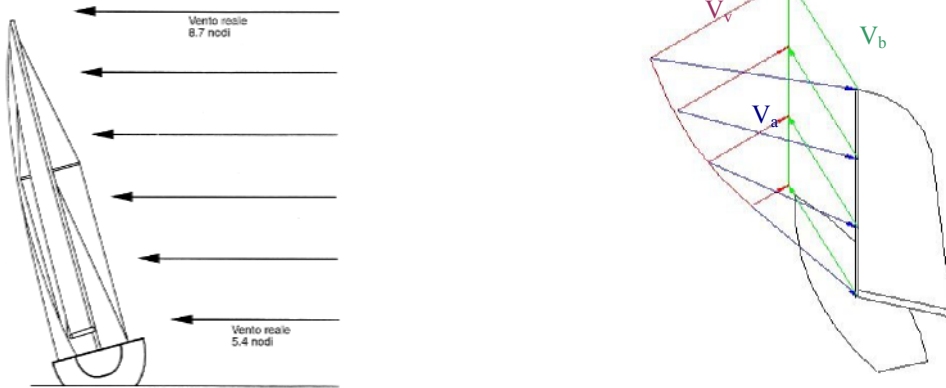


Figura 1. gradiente di \vec{V}_v e triangolo di velocità $\vec{V}_a + \vec{V}_b = \vec{V}_v$ lungo l'albero dell'imbarcazione.

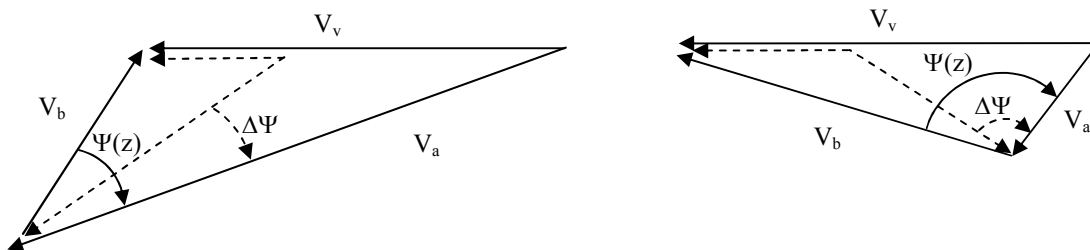


Figura 2: triangoli di velocità in andatura di bolina (sx) e lasco (dx).

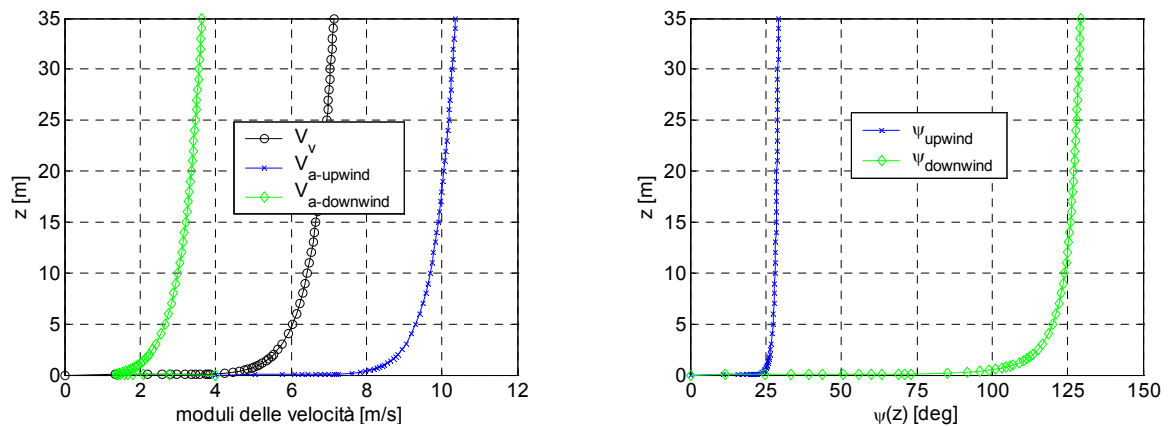


Figura 3: esempi di profilo di velocità del vento vero e del vento apparente per un'andatura di bolina (upwind) e lasco (downwind) (sx) nonché andamento di $\Psi(z)$ nelle medesime andature (dx)

A titolo d'esempio la figura 3 riporta gli andamenti del modulo e dell'angolo Ψ del vento apparente visto da bordo dell'imbarcazione alle diverse quote, con riferimento rispettivamente ad una andatura di bolina e di lasco assegnato un profilo di velocità del vento reale caratteristico dello strato limite tipo riscontrabile sulla superficie del mare. Con riferimento all'andamento del twist della vena incidente si osserva che le maggiori variazioni di angolo tra la testa d'albero e il piano di coperta sono associate alle andature di lasco e possono raggiungere differenze di 25 gradi: si comprende quindi come, dal punto di vista delle prove in galleria del vento su modelli in scala, sia necessario riprodurre correttamente tali andamenti che hanno grande influenza sull'entità delle forze sviluppate dal piano velico.

La presenza di un moto di trascinamento ha effetto anche nelle componenti turbolente che investono l'imbarcazione. È noto che la turbolenza del vento gioca due ruoli fondamentali nell'interazione fluido-struttura. Innanzitutto sposta il punto di separazione e ciò diviene molto importante nel caso delle vele per andature portanti con flusso separato, inoltre favorisce i fenomeni di transizione dello strato limite ed è quindi importante modellarla correttamente in modo da riprodurre il comportamento dello strato limite nei casi di flussi anche non separati. Ne consegue che per la definizione delle grandezze caratteristiche associate alla turbolenza del vento che investe l'imbarcazione è necessario considerare la variabilità delle diverse componenti di velocità medie e fluttuanti rispetto ad un sistema di riferimento solidale con l'imbarcazione stessa.

Il presente lavoro illustra le attività svolte allo scopo di progettare un dispositivo atto alla realizzazione di *twisted flow* in corrispondenza del volume circostante il modello di imbarcazione nella camera di prova a bassa velocità della Galleria del Vento del Politecnico di Milano. In particolare, allo scopo di definire i parametri geometrici fondamentali per il progetto definitivo, è stato realizzato un dispositivo pilota che è stato provato nel modello in scala 1:9 della Galleria del Vento. Le misure, effettuate mediante sonda di pressione multiforo, hanno permesso di mappare il campo di velocità a valle del dispositivo, mettendo in luce le relazioni fondamentali che legano i parametri geometrici del dispositivo con le caratteristiche del flusso generato. Inoltre vengono considerati alcuni aspetti relativi alle caratteristiche della turbolenza del vento apparente.

2 DESCRIZIONE DEL DISPOSITIVO DI TWIST PILOTA

La camera di prova a bassa velocità della Galleria del Vento di Milano (Figura 4), ha una sezione di 14 metri di larghezza per 4 metri di altezza. Il modello è posto al centro di un tavolo girevole a valle di un tratto a sezione costante di 36 metri ove è possibile generare il desiderato profilo di velocità, eventualmente attraverso l'utilizzo di *spires* e *roughness elements* oltre che differenziando le 16 turbine a valle della divergente. Il dispositivo pilota è stato provato nel modello della Galleria del Vento in scala 1:9.

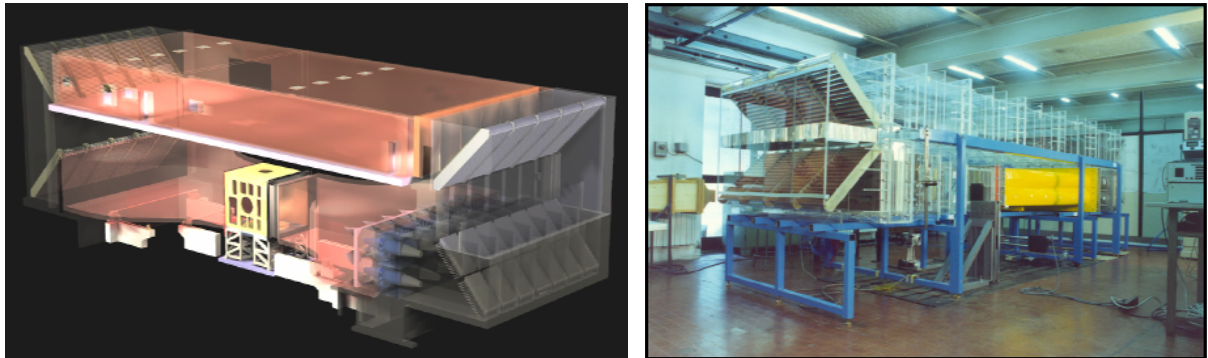


Figura 4: La Galleria del Vento del Politecnico di Milano(sx) e il modello in scala 1:9 dell'impianto (dx)

Per la realizzazione del *twisted flow device* all'interno della camera di prova si è utilizzato un sistema di alettature (Figura 5, sx) prendendo suggerimento da dispositivi già realizzati presso altre gallerie del vento, seppur dotate di sezioni assai inferiori ([1], [2], [3], [4]). Si osservi che la zona interessata allo svolgimento delle prove è al centro del tavolo girevole, ove si trova la bilancia dinamometrica alla quale è vincolato il modello di imbarcazione. In altre parole si vuole avere le condizioni di flusso twistato solo in una piccola regione della camera di prova (Figura 5, dx).

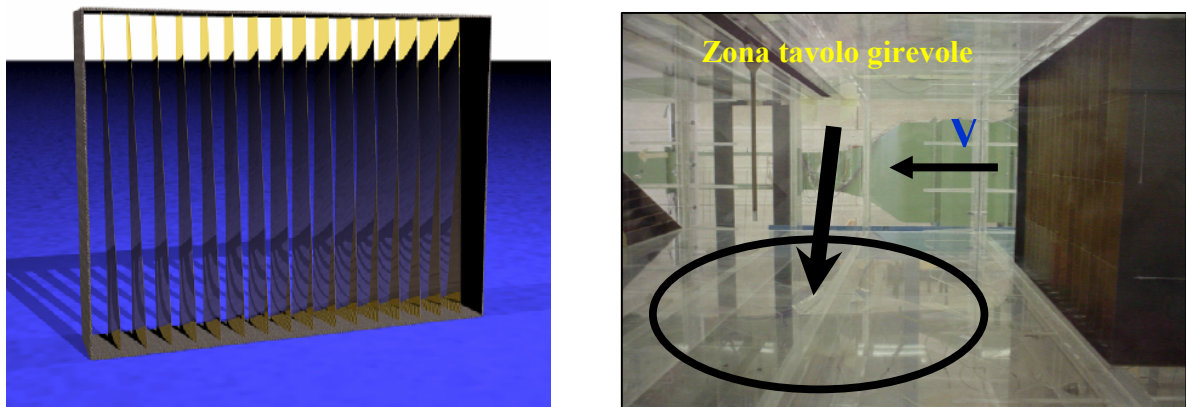


Figura 5: dispositivo pilota (sx) e suo collocamento nel modello di galleria del vento rispetto al tavolo girevole che accoglie i modelli di imbarcazione (dx).

Il dispositivo pilota ha dimensione verticale pari a quella della camera di prova e dimensione trasversale pari a circa un terzo della larghezza della camera. Il dispositivo è costituito da 16 alette, tutte di uguale forma ed equidistanti, realizzate in rame e tenute insieme da un telaio in fibra di carbonio. Il profilo della singola aletta è stato concepito in modo tale da essere tangente alla dire-

zione flusso entrante nel dispositivo, per garantire le condizioni di continuità in ingresso; inoltre la curvatura dell'aletta varia gradualmente con la quota e la tangente del bordo di uscita è determinato dal valore di svergolamento desiderato.

Tenendo conto dei valori di twist che generalmente si riscontrano a bordo di un'imbarcazione il dispositivo pilota è stato realizzato con uno svergolamento complessivo di 20 gradi. In particolare l'aletta ha uno svergolamento uguale ed opposto rispetto alla sua quota intermedia, variando da -10 gradi alla base a +10 gradi alla sommità.

3 METODOLOGIA DI SPERIMENTAZIONE E RISULTATI SPERIMENTALI SU MODELLO IN SCALA

Le misure effettuate sul modello della galleria del vento sono state condotte per definire le caratteristiche statiche del flusso in presenza del *twisted flow device*. Le grandezze fisiche di maggior interesse a tal proposito sono il campo di pressione, il modulo e l'angolo della velocità del vento apparente. Il principale strumento di misura impiegato è un anemometro direzionale basato su una sonda di pressione multiforo, strumento in grado di valutare la componente stazionaria del campo di velocità di flussi bidirezionali in modulo e direzione. Il posizionamento verticale della sonda, consente la lettura di angoli in piani orizzontali coerentemente con la definizione di Ψ . La sonda effettua un confronto tra una distribuzione di pressioni rilevata sperimentalmente ed una mappa adimensionale di natura analitico-sperimentale memorizzata una volta per tutte durante una specifica operazione di taratura con riferimento di velocità e Reynolds del flusso noto. L'algoritmo di controllo ed acquisizione, tramite il confronto tra la distribuzione di pressioni misurata e la mappa di riferimento, stima il modulo e la direzione di provenienza del flusso relativo visto dalla sonda. L'elemento sensibile è un cilindro di diametro di 7 mm e lunghezza di 250 mm, che porta in estremità un terminale in plexiglass, su cui sono ricavati, a distanza di 15 mm dall'estremità, dodici fori radiali equispaziati di diametro 0.22 mm per la rilevazione della pressione locale. Questi sono collegati ad uno scanner elettronico di pressione a sua volta gestito dal PC che svolge anche l'acquisizione dati e la movimentazione della sonda all'interno della camera di prova. Per avere ripetibilità del posizionamento della sonda, si è infatti utilizzato un sistema di traversing motorizzato a due assi comandato in remoto. La Figura 6 mostra la catena di misura utilizzata.

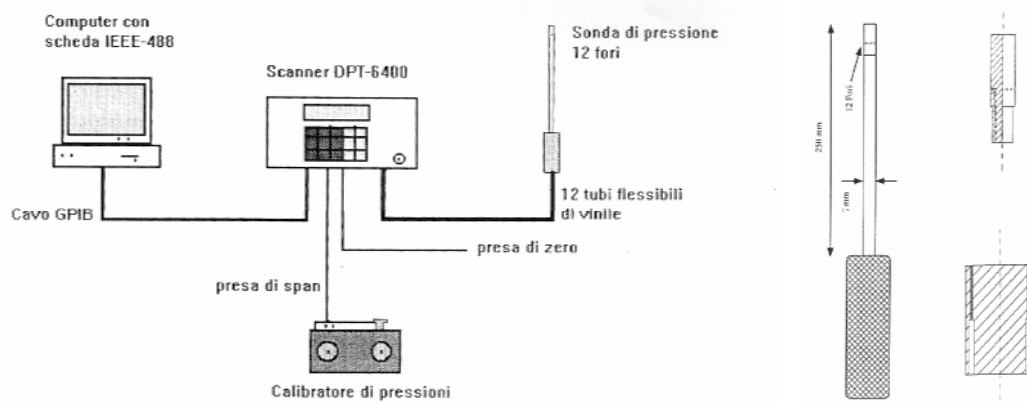


Figura 6 catena di misura utilizzata (sx) e sonda di pressione multiforo (dx).

Le misure sono state effettuate in un ampio volume della camera di prova a valle del dispositivo, per poter cogliere l'andamento della scia nonché per individuare la distanza ottimale alla quale posizionare il dispositivo rispetto al modello per garantire le condizioni di svergolamento desiderate nella zona del modello stesso.

A titolo d'esempio, la Figura 7 mostra la distribuzione dei vettori velocità del flusso nella sezione in cui si troverebbe il modello di imbarcazione. Si osserva la variazione di angolo alle diverse quote che realizza lo svergolamento desiderato.

La Figura 8 riporta il dettaglio delle misure nella medesima sezione con riferimento rispettivamente all'andamento del modulo della velocità del vento apparente e dell'angolo di svergolamento (twist) alle diverse quote (z). Dai grafici si evince che si riesce ad ottenere un andamento del modulo della velocità sufficientemente uniforme nella direzione trasversale della camera di prova (y) e uno svergolamento complessivo (con la quota z) prossimo a quello imposto dalla geometria del dispositivo e pertanto adeguato agli scopi.

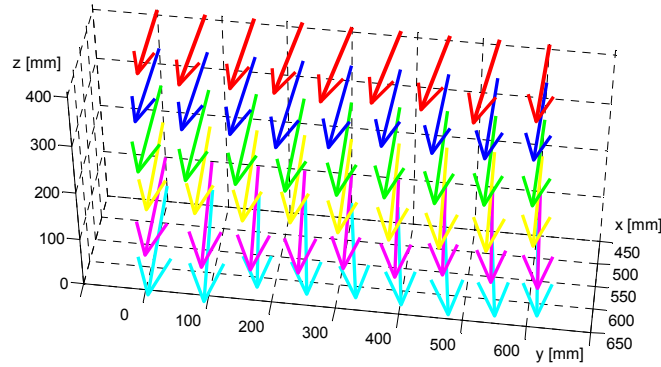


Figura 7: rappresentazione dei vettori $\vec{V}_a(y, z)$ nella sezione $x_{ottima} = 450\text{mm}$ a valle del dispositivo

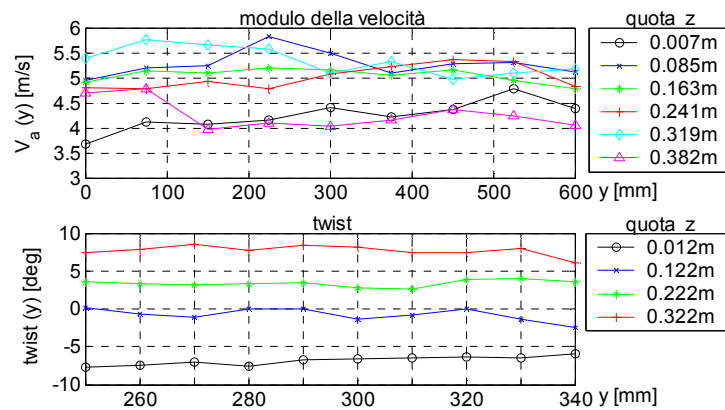


Figura 8: misure di $|V_a(y)|$ e $twist$ nella sezione $x_{ottima} = 450\text{mm}$ a valle del dispositivo

4 ANALISI DELLA TURBOLENZA DEL VENTO APPARENTE

Risulta infine interessante l'analisi dell'influenza del moto dell'imbarcazione sulle caratteristiche della turbolenza della vena fluida che investe l'imbarcazione stessa.

Da questo punto di vista, in accordo con quanto indicato da altri autori ([5], [6], [7], [8]) è possibile, utilizzando alcune semplici relazioni cinematiche e applicando le dovute trasformazioni di coordinate, esprimere le grandezze che caratterizzano il flusso incidente in termini delle medesime grandezze in un sistema di riferimento solidale con l'imbarcazione permettendo quindi di valutare le quantità caratteristiche come se fossero "viste da bordo".

In particolare, per quanto riguarda il vento apparente (Figura 9), ovvero il vento visto da bordo dell'imbarcazione, definito un sistema di riferimento assoluto (x' , y' , z') rispetto al quale sia definito il flusso $\vec{V}_v(z)$ (definito in precedenza vento vero e dipendente solamente dalla quota z) caratterizzato da una velocità media U (diretta come x') e dalle componenti fluttuanti rispettivamente lungo x' , y' e z' della velocità u' , v' e w' dovute alla turbolenza, e definito un sistema (x , y , z) con l'asse x diretto come la velocità (media) del vento apparente visto dall'imbarcazione $V_a(z)$, nell'ipotesi che siano assenti moti di beccheggio dell'imbarcazione è possibile definire il modulo del vettore velocità del vento apparente:

$$V_a^2(t) = V_b^2 + (U + u'(t))^2 + v'(t)^2 + 2V_b \cdot (U + u'(t)) \cdot \cos \Phi(t) - 2V_b \cdot v'(t) \cdot \sin \Phi(t) + w'(t)^2 \quad (1)$$

e l'angolo formato tra il vettore velocità del vento apparente e la velocità della barca (detto comunemente angolo al vento apparente):

$$\psi = \tan^{-1} \left[\frac{U \cdot \sin \Phi}{V_b + U \cdot \cos \Phi} \right] \quad (2)$$

Nelle (1) e (2) con \vec{V}_b si è indicata la velocità della barca (supposta costante), con $U = U(z)$ la velocità media del vento vero $\vec{V}_v(z)$, con $u'(t)$, $v'(t)$ e $w'(t)$ le componenti fluttuanti del vento vero rispettivamente lungo gli assi del sistema di riferimento assoluto (x' , y' , z') e con $\Phi(t)$ si è indicato l'angolo compreso tra la direzione x' di provenienza della componente media del vento vero $\vec{V}_v(z)$ e la velocità della barca \vec{V}_b .

Tale angolo può essere valutato come somma di un valore medio Φ e di una fluttuazione $\Delta\Phi(t)$ a sua volta valutabile conoscendo le componenti della velocità u' e v' dovute alla turbolenza mediante la:

$$\Phi(t) = \Phi + \Delta\Phi(t) \approx \Phi + \frac{v'}{U + u'} \quad (3)$$

Si noti che sia il modulo che l'angolo del vento apparente sono inoltre funzione della quota verticale qualora si tenga conto del gradiente di velocità $U(z)$ della componente media del vento vero.

Per quanto riguarda i legami tra le componenti delle fluttuazioni del vento nel piano orizzontale nei due diversi sistemi di riferimento essi possono essere espressi mediante la:

$$\begin{bmatrix} u(t) \\ v(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta(t) & -\sin \beta(t) \\ \sin \beta(t) & \cos \beta(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u'(t) \\ v'(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Nella (4) con $u(t)$ e $v(t)$ si sono indicate le componenti nel piano orizzontale della turbolenza definite nel sistema di riferimento (x,y,z) , con u' e v' le componenti della velocità dovute alla turbolenza nel sistema di riferimento assoluto e con $\beta(t)$ si è indicato l'angolo compreso tra la direzione del vento vero e quello apparente (Figura 9).

E' quindi possibile calcolare l'indice di turbolenza del vento apparente detto anche indice di turbolenza relativo $I_u(z)$:

$$I_u(z) = \frac{\sigma_u(z)}{V_a(z)} \quad (5)$$

definito come rapporto tra la varianza della componente di velocità vista dal sistema di riferimento definito dalla velocità del vento apparente visto dall'imbarcazione e il valor medio della velocità del vento apparente stesso.

Si osservi che nella (5) si fa riferimento alla componente $u(t)$ diretta come l'asse x precedentemente definito (allo stesso modo è possibile definire un indice di turbolenza per le altre componenti della velocità).

Applicando le (4) si ricava che la deviazione standard della componente orizzontale risulta valutabile mediante la:

$$\sigma_u^2(z) = \sigma_{u'}^2(z) \cdot \cos^2 \beta(z) + \sigma_{v'}^2(z) \cdot \sin^2 \beta(z) \quad (6)$$

Infine per quanto riguarda le caratteristiche di lunghezza di scala integrale, considerando a titolo d'esempio la componente orizzontale u della velocità del vento apparente visto dall'imbarcazione, la relativa componente L_u può essere valutata a partire dalle componenti nel sistema di riferimento assoluto del tensore della scala integrale della componente fluttuante u' mediante la:

$$L_u = \left[\left({}^x L_{u'} \cdot \cos \beta \right)^2 + \left(2 \cdot {}^y L_{u'} \cdot \sin \beta \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

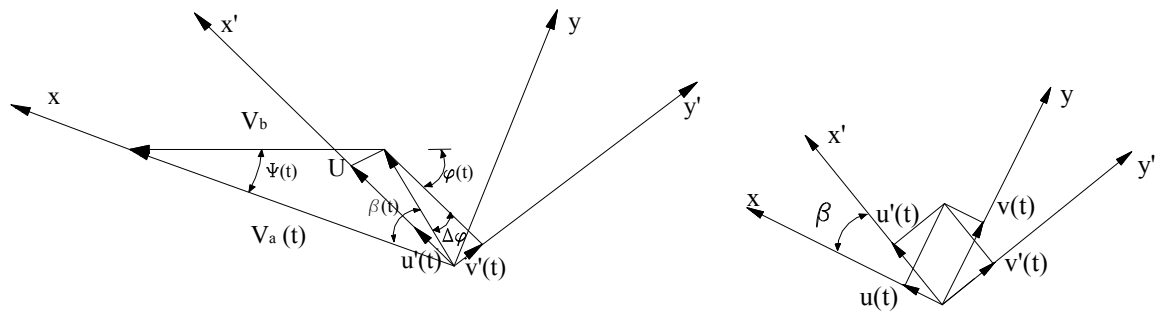


Figura 9: geometria dei vettori velocità (vx), e trasformazione di coordinate (dx).

Espressioni analoghe possono poi essere ricavate per le altre componenti del tensore della scala integrale.

Per quanto riguarda infine le caratteristiche del vento apparente in frequenza, a partire dalle componenti della turbolenza nel sistema di riferimento diretto come la velocità del vento apparente si ricavano le relative funzioni di densità di potenza spettrale.

A titolo d'esempio la Figura 10, mostra come si modifica la funzione di densità di potenza spettrale del vento apparente rispetto a quella del vento vero quando l'imbarcazione si muove navigando con un andatura di bolina o con una andatura al lasco. Si osservi che il valore massimo dello spettro non varia in modulo, ma trasla solamente rispetto all'asse delle frequenze (con una sorta di effetto Doppler).

Sempre a titolo d'esempio in Figura 11 vengono presentati i valori degli indici di turbolenza valutati al crescere della quota, della componente del vento apparente, ricavati con diverse velocità del vento reale nella condizione di navigazione cosiddetta di massima *VMG* (ossia la condizione che realizza la massima componente di velocità della barca nella direzione di provenienza del vento vero) navigando nelle andature di bolina e di lasco.

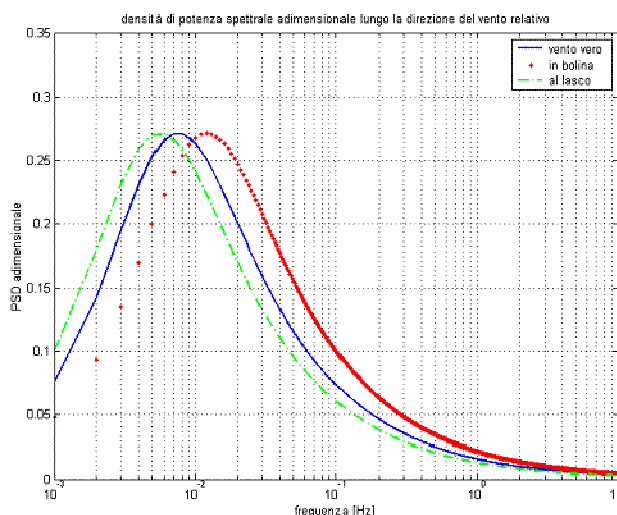


Figura 10: Power Spectrum Density a barca ferma, in navigazione di bolina e in navigazione al lasco.

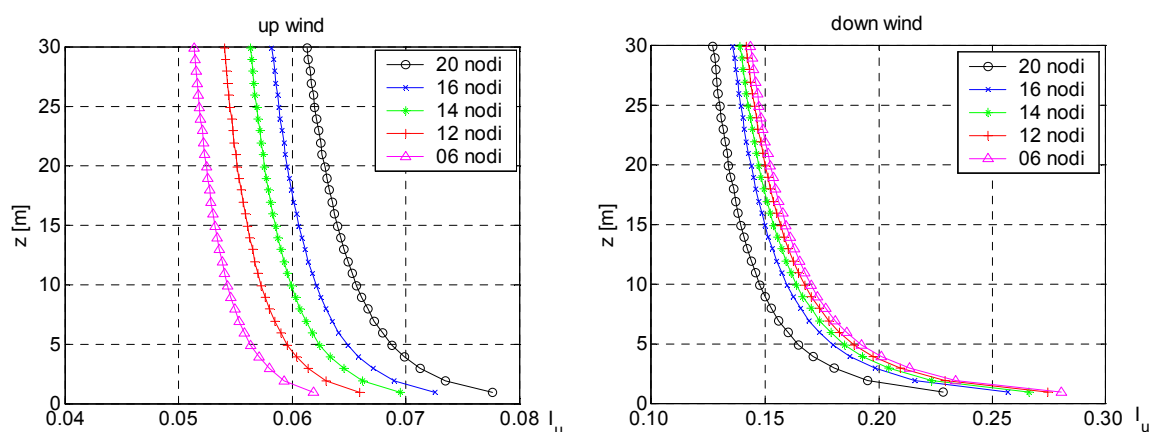


Figura 11: indici di turbolenza del vento apparente osservati da un'imbarcazione in navigazione di bolina (sx) e di lasco (dx), con massima VMG per diverse velocità del vento vero

Sulla base di tali indicazioni si può osservare che in funzione delle diverse andature provate in galleria del vento si pone il problema di riprodurre in camera di prova indici di turbolenza differenziati utilizzando opportuni accorgimenti.

5 CONCLUSIONI

Nella presente memoria è stata descritta l'attività svolta allo scopo di mettere a punto un dispositivo da utilizzare nelle prove in galleria del vento su modelli in scala di imbarcazioni a vela, che consenta di riprodurre la particolare distribuzione della velocità del vento apparente incidente sul modello, dovuta alla combinazione del gradiente di velocità del vento atmosferico (detto vento vero) con il movimento dell'imbarcazione, caratterizzata da una variazione con la quota sia dell'intensità che della direzione (twisted flow). In particolare è stato realizzato un modello in scala del dispositivo ed è stato impiegato nel modello in scala 1:9 dell'impianto reale: le misure effettuate hanno consentito di verificare la concreta possibilità di riprodurre il flusso svergolato nella zona interessata dal modello mediante tale dispositivo e di ottimizzarne il progetto in funzione delle caratteristiche dell'impianto al vero. Dall'esperienza effettuata sono quindi emerse le indicazioni fondamentali per il progetto e lo sviluppo del dispositivo da collocare nella camera di prova a bassa velocità della galleria del vento del Politecnico di Milano.

Parallelamente sono stati implementati dei codici di calcolo che consentono di ricavare le caratteristiche del flusso turbolento associate al vento apparente che investe l'imbarcazione al variare dell'intensità del vento vero nonché della velocità e andatura dell'imbarcazione stessa.

Allo stato attuale si stanno analizzando gli accorgimenti che devono essere adottati per la corretta riproduzione di tali aspetti nell'esecuzione dei test e si sta procedendo con la realizzazione del dispositivo al reale.

REFERENCE

- [1] R. G. J. Flay, I. J. Vuletic, Development of a wind tunnel test facility for yacht aerodynamic studies. *Journal of Wind Engineering and industrial Aerodynamics*, 58 (1995) 231-258, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam
- [2] R. G. J. Flay, N. J. Locke, G.D. Mallison, Model test of Twisted flow Wind Tunnel designs for testing yacht sails, *Journal of Wind Engineering and industrial Aerodynamics*, 63 (1996) 155-169 Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam
- [3] R. G. J. Flay, P. S. Jackson, Flow Simulation for Wind-Tunnel Studies of Sail Aerodynamics. *Journal of Wind Engineering and industrial Aerodynamics*, 41-44 (1992) 2703-2714 Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam
- [4] R. G. J. Flay, A twisted flow wind tunnel for testing yacht sails. *Journal of Wind Engineering and industrial Aerodynamics*, 63 (1996) 171-182 Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam
- [5] Kevin R. Cooper, Requirements for the Wind Tunnel Simulation of the Turbulence Encountered by Surface Vehicles.
- [6] Kevin R. Cooper, The Wind Tunnel simulation of Wind Turbulence for surface vehicle testing *Journal of Wind Engineering and industrial Aerodynamics*, 38 (1991) 71-81 Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam
- [7] Kevin R. Cooper, W. F. Campbell, An examination of the effects of wind turbulence on the aerodynamic drag of vehicles, 4th Colloquium of Industrial Aerodynamic Giugno 1980
- [8] R. G. J. Flay, D. C. Stevenson, Integral Length Scale in strong Winds below 20 m. *Journal of Wind Engineering and industrial Aerodynamics*, 28 (1988) 21-30 Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam